

幼穂形成期から出穂期にかけての遮光処理が 水稻の根系の形成および収量に及ぼす影響

第1報 根長密度に着目した場合*

間 脇 正 博・森 田 茂 紀**・菅 徹 也**¹⁾

岩 田 忠 寿・山 崎 耕 宇**

(福井県農業試験場, **東京大学農学部)

平成元年7月12日受理

要 旨: 水稻の幼穂形成期から出穂期にかけての期間に、人為的に遮光処理 (遮光率 22%) を行い、根の長さ・分布と収量への影響を根長密度に着目して解析した。品種コシヒカリを供試し、福井県農業試験場圃場 (細粒強グライ土壌) で栽培した。収穫直前に遮光区と遮光しなかった対照区において株下および株条間 (相互に隣接する4株の中央部分) から、ステンレス製の円筒を用いて、深さ 30 cm までの根を採取し、土層別にルートスキャナーで根長を測定し、根長密度 (単位土壌体積中に存在する根の総長) を算出した。遮光処理により、とくに一穂粒数が強い影響をうけ、登熟歩合、千粒重にも影響が及び収量は約 10% 減少した。根長密度は株下、株条間の両部位とも表層から深さ 20 cm までの各層で遮光区が対照区より小さく、とくに、株下の 5~10 cm, 株条間の 0~5 cm, さらに株下、株条間の 15~20 cm の層で顕著な減少がみられた。なお、20 cm 以下の層では差がみられなかった。根長密度の値を利用して 10 a (深さ 30 cm まで) 当りの総根長を推定したところ、対照区で 49,200 km, 遮光区では 38,100 km となり、遮光区が対照区より 20% 以上短くなっていた。以上の結果から、処理期間の日射量は水稻の収量、根系形成に著しい影響を及ぼすことが明らかにされ、根の量的形質と収量形質との密接な関連性が示唆された。

キーワード: コシヒカリ, 根長, 根長密度, 遮光, 収量, 水稻, 日射量, ルートスキャナー。

Effect of Shading on Root System Morphology and Grain Yield of Rice Plants (*Oryza sativa* L.) I. An analysis on root length density: Masahiro MAWAKI, Shigenori MORITA*, Tetsuya SUGA*, Tadatashi IWATA and Koou YAMAZAKI* (*Fukui Pref. Agric. Exp. Stn., Fukui 910, Japan; *Faculty of Agriculture, the University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan*)

Abstract: Rice plants, cv. Koshihikari were grown on a fine-textured gley paddy soil at Fukui Pref. Agric. Exp. Stn.. Plants were grown under full (control plot) and 78% of full solar radiation (shaded plot) with shade cloth from panicle formation stage till heading. Effects of shading on root length density (RLD), root length, root distribution and grain yield of rice plants were determined.

Samples taken both in and between hills, at the 0~20cm soil depth, showed that RLD was lower in shaded plot than in control plot. There was no significant difference in RLD between shaded and control plots at the 20~30cm soil depth. The total root length per 10a (30cm depth) was estimated with RLD. The total root length of shaded plot (38,100km/10a) was 20% less than the control (49,200km/10a). The grain yield in shaded plot was approximately 10% lower than the control. The main effect seemed to be a decrease in the number of grains per head, however, there was also a decrease in percentage of ripened grains and grain weight.

These results indicate that solar radiation during panicle formation to heading affects root system morphology and grain yield of rice plants. Also there are strong relationships between both mass and distribution of roots and grain yield of rice plants.

Key words: Koshihikari, *Oryza sativa* L., Rice, Root length, Root length density, Root scanner, Shading, Solar radiation.

福井県はコシヒカリを中心とした良質米の生産地として高く評価されている。しかし、1970年代半ば以降、10a 当りの平均収量は年次間変動が大きく (1975年から10年間の変動係数 5.0%)、この間の収量の伸びも少なく停滞傾向にある。良質米生産地としての基盤を固めるためには、その良質米品種

の安定生産のための技術指針を深化することが強く求められている。

著者ら⁶⁾は先に、福井県の作柄変動の要因解析を行い、幼穂形成期から出穂期にかけての気象条件が大きく関与していることを示した。すなわち多収年は低収年に比較して、その期間の日射量が多く高温であること、また水稻の生育では地上部の葉面積指数 (LAI)、比葉面積 (SLA) が相対的に小さく、個体群生長速度 (CGR) が高いこと等を明らかにし

*大要は、第183回講演会 (昭和 62 年 4 月) において発表

¹⁾現在：日本たばこ産業 (株) 遺伝育種研究所。

た。

しかし、その機構の解析は不十分であり、とくに、この期間の気象条件と水稻の形態形成との関連については未解明の点が多い。今後生育診断技術や対応技術等を確立していくためには、形態形成の視点からの解析、データの蓄積が必要と思われる。

本報では、関連する気象条件の中でも、とくに光条件に着目し幼穂形成期から出穂期にかけての人為的な遮光処理が、水稻根系発達の一つの指標である根長密度およびその分布に及ぼす影響を明らかにするとともに、それらと収量との関連についても若干の検討を加えた。

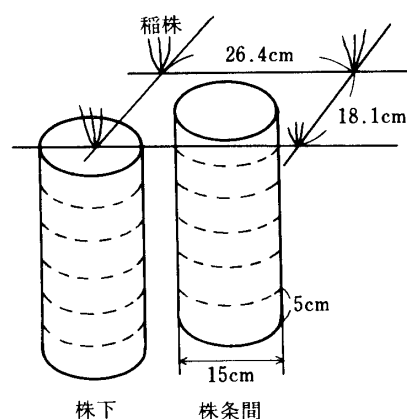
材料と方法

試験は1986年に福井県農業試験場(福井市)の細粒強グライ土壌の水田で行なった。水稻品種はコシヒカリを供試し、播種後20日目の稚苗(播種量: 乾粳160 g/箱)を5月6日に移植した。栽植様式は条間26.2 cm, 株間18.1 cm(栽培密度: 20.9 株/m²)で、1株3個体を手植えた。施肥は基肥、中間追肥、穂肥(3回分施)に分けて施し、その合計はN, P₂O₅, K₂Oにしてそれぞれ10アール当り8.0, 4.0, 9.3 kgであった。その他に、10アール当り珪カル200 kg, 熔成燐肥40 kgを基肥として施用した。また、水管理は移植後約1カ月間は常時湛水とし、以降、成熟期まで間断かんがいをした。

試験区として遮光処理を行なった遮光区と処理を加えない対照区の2区を設けた。遮光処理は、出穂の21日前にあたる7月17日(葉齢12.8)から始め、穂揃期にあたる8月10日(出穂後4日)までの25日間行なった。遮光区、対照区の主茎止葉葉位は両区とも14.2であった。処理は遮光率22%の寒冷紗(#300)で試験区(約25 m²)を完全に覆うことにより行なった。

収量および収量構成要素の推定は、各試験区より100株刈り取り脱穀調製し、刈り取り面積から逆算推定する方法と、根長測定株の茎(有効茎)別に粒数、登熟歩合、千粒重および精玄米重を測定する方法の2方法で行なった。

根長測定用材料の採取は、森田ら¹⁴⁾の方法にほぼ準じて行なった。すなわち、収穫直前の9月12日に遮光区、対照区とも試験区内の生育中庸な場所で連続した45株の穂数を調査して、平均的な穂数を示す株を選定し、第1図に示した株下部位と、株条間部位からそれぞれ3反復の根系を採取した。根



第1図 根長密度の測定部位。

系は直径15 cm, 長さ40 cmのステンレス製円筒を、深さ30 cm以上になるよう土壌中に垂直に差込んで掘り取った。掘り取った円柱状の土塊を土壌表面から5 cm間隔で輪切りにし層別の土塊とした。この各層別土塊は一時ホルマリン・酢酸・アルコール(FAA)で固定して保存後、順次とりだして各層別土塊ごとに、根を水で洗いだし、根長測定時まで再びFAA中で保存した。根の洗い出しは、極めて取り扱いにくい土壌であったことを考慮し、とくに細い分枝根の流亡を防ぐため1 mmメッシュのザルを三重にして洗いだした。

根長の測定はルートスキャナー(Commonwealth Aircraft Corp., Ltd. 製, Comair Root Scanner)を用いて行ない、部位別(株下か株条間かの別)、層別の根長を測定し、その値と各層別土塊の体積とから根長密度を算出した。

結 果

1. 収量および収量構成要素

2つの方法で測定ないし推定した収量および収量構成要素は、いずれもほぼ同様な結果を示したので、根長測定株の調査より求めた数値を第1表に記載した。精玄米重(粒厚1.8 mm以上, 水分15%)は、両区とも600 g/m²(600 kg/10 a)以上の比較的多収量となった。しかし両区を比較すると遮光区の収量は対照区より約60 g少なく、比率にして91%となり、遮光の影響が顕著に認められた。収量構成要素についてみると、遮光区は対照区に比較して、穂数はほぼ同じであったのに対し、一穂粒数の減少が著しく、遮光区は対照区の95%となった。ついで、遮光の影響は登熟歩合、千粒重にも認められ、それぞれの値は遮光区でわずかに低下した。

第1表 収量および収量構成要素。

区 分	収 量 お よ び 収 量 構 成 要 素				
	精玄米重 (g/m ²)	穂 数 (本/m ²)	一穂粒数 (粒)	登熟歩合 (%)	千粒量 (g)
対 照	**	n.s	**	*	*
遮 光	663	378	95	83.4	22.1
遮光/対照比(%)	604	376	90	81.6	21.9
	91	99	95	98	99

**, *, n.s はそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なし。

2. 部位別および層別の根長密度

根長密度とは単位土壌体積当りの総根長を示し、根量を表示する一つの指標である。ここでは各層別土壌中に含まれていた根の長さをルーツキャナーで測定し、得られた総根長の値を各土塊の体積で除して求めた。第2表は株下と株条間の2つの部位における表層から5 cm ごとの層別の根長密度を示している。両試験区に共通する全体的な傾向を層別にみると、0~5 cm の表層の根長密度の値が最も大きく、土層が深まるにつれて急激に小さくなった。また、部位間で比較してみると、0~5 cm の表層では株下が株条間よりかなり大きいのにに対し、それより深くなると、両部位の値はほぼ等しくなっていた。なお、得られた根長密度の値は1.4~52.3 cm/cm³の範囲にあった。

一方、第2表で、根長密度に対する遮光処理の影響をみると、株条間のいずれの部位においても、20 cm の深さまでは、対照区に比較して遮光区で根長密度の値が小さくなった。層別にみると、対照区と遮光区の差が統計的に有意であるのは、株下では5~10、10~15、15~20 cm の各層であり、株条間では0~5、5~10、15~20 cm の各層であった。またとくに、遮光区の根長密度の減少量が大きいとこ

ろは株下の5~15 cm の層、株条間の0~5 cm の表層、さらに株下、株条間の15~20 cm の層であった。なお、20 cm 以下の層については、株下、株条間とも対照区と遮光区における根長密度の値に有意な差は認められなかった。

3. 単位面積当り総根長の推定

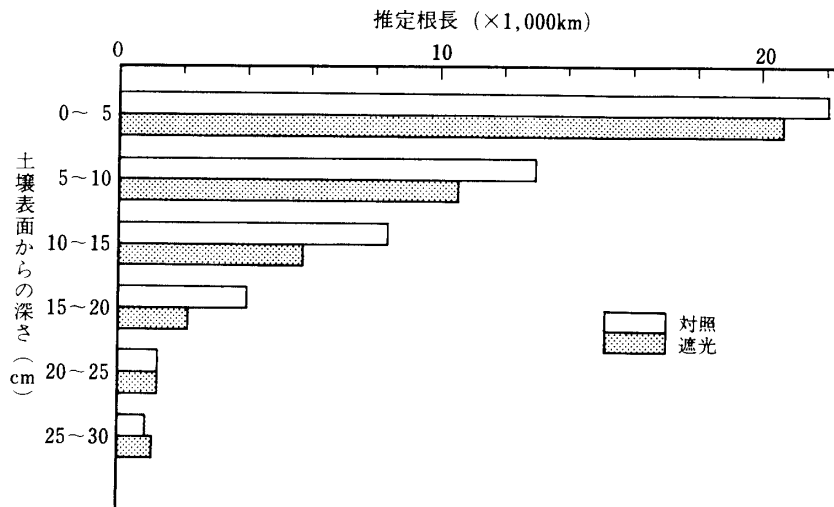
つぎに、第2表に示した根長密度の値を利用して、森田ら¹⁴⁾の方法に準じて10 a 当りの層別の総根長を推定した。すなわち、対照区、遮光区それぞれについて、株下と株条間における根長密度の平均値を求め、その値を単純に各層の平均根長密度とし、その値を使って10 a 当りの総根長を5 cm ずつの層別に推定した(第2図)。両試験区に共通して、10 a 当りの層別総根長は0~5 cm の表層では約20,000 km にも達し、深い層になるほど層別総根長は顕著に減少した。つぎに、対照区に対する遮光区の総根長を層別に比較すると、地表から20 cm までは遮光区の方が低い値を示していた。

以上得られた値を合計し、表層から30 cm の深さまでの10 a 当り総根長を算出すると、対照区は49,200 km であったのに対し、遮光区では38,100 km で遮光区は対照区に比較して20% 以上も短くなっていた。

第2表 株下、株条間における層別の根長密度。

部 位	区 名	層 別 の 根 長 密 度 (cm/cm ³)						平 均
		cm 0~5	cm 5~10	cm 10~15	cm 15~20	cm 20~25	cm 25~30	
株 下	対 照	n.s	*	**	**	n.s	n.s	*
	遮 光	52.3	29.5	16.9	8.6	2.2	1.4	18.5
	遮光/対照比(%)	49.9	18.4	11.5	4.5	2.7	2.0	14.8
株条間	対 照	**	*	n.s	**	n.s	n.s	**
	遮 光	35.5	22.6	15.7	7.3	2.8	1.6	14.2
	遮光/対照比(%)	25.1	18.7	11.3	4.2	2.5	1.8	10.6

**, *, n.s はそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なし。



第2図 推定根長の層別分布 (10 a 当り).

考 察

1. 日射量と水稻の収量との関係については古くから多くの研究が行われている。なかでも松島ら¹¹⁾は生育各期に10日間ずつ遮光して収量と収量構成要素への影響を詳細に調査し、出穂前16~7日の処理では一穂穎花数、千粒重に、出穂前6~3日の処理では稔実歩合に及ぶ影響が強く、その結果著しい減収のみられることを報告している。本実験は上記2時期とほぼ同時期に、連続して遮光処理したものとみなすことができ、収量ならびに収量構成要素についてほぼ同様の結果が得られている(第1表)。ただし松島らの処理は、遮光率が約90%と強く、遮光率が22%と小さい本実験より処理の影響の現われ方は顕著であったと考えられる。なお、収量構成要素への遮光処理の影響は、処理前後の気象や、生育状況その他の要因により変動するものと考えられ、その程度の大小についてはさらに検討を加えることが必要であろう。いずれにしても幼穂形成期から出穂期にかけての期間の日射量は、収量成立の上で強い影響を及ぼす要因であることが、本研究によって再確認されたといえよう。

一方、この時期の気象条件が、水稻その他諸器官の形態形成に及ぼす影響について研究したものは比較的少ない^{5,10)}。しかしその詳細を検討することは、とくにコシヒカリのような長稈で倒伏し易く栽培の難しい品種について、適正な栽培技術指針を確立する上で意義あるものと考えられる。本研究で、実際の圃場レベルで日射量が水稻の根の形態形成に及ぼす影響を検討したのも、以上のような意図をもって

のことに他ならない。

2. 遮光処理の影響について検討する前に、まず土壌中における根長密度の絶対値およびその分布について若干の考察を加えておきたい。

まず根長密度の絶対値についてみると、本実験では、とくに0~15 cmの各層で、従来イネについて報告されている値(1.1~8.8 cm/cm³¹⁴⁾、あるいは0.1~20 cm/cm³^{2~4)}と比較して、きわめて大きな数値が得られている(第2表)。このような結果をもたらした要因としては、品種の相違もさることながら、従来¹⁴⁾と比較して、根の洗い出しを慎重に行なったため、脱落流亡しやすい細い分枝根が高率に捕捉され測定されたことがあげられよう。このことは根長密度の測定にあたっては、統一的な規格にしたって根の洗い出しを周到に行なう必要がある、また得られた結果の既往の数値と比較する場合には、それぞれの方法について十分な検討を加える必要のあることを示すものであろう。なお本実験で推定した10 a 当りの総根長が従来の報告に示されるもの¹⁴⁾より著しく大きくなったことについても、以上述べた根長密度の値が大きく関与しているとみてよいと考えられる。

つぎに本実験では遮光区、対照区とも、0~5 cmの表層で、根長密度が著しく大きくなる特徴がみられた(第2表)。従来、根長密度が最大を示す部位については、土壌表層にある場合^{2,3,4)}と土壌表層よりやや下の層にある場合¹⁴⁾との2通りが指摘されている。本実験では合計4回(穂肥の3回分施を含む)の追肥とあわせて間断かんがいを行なっており、窒素の追肥回数が多いほどわ根が発達し⁸⁾、

間脇かんがいもまた、うわ根を増加させる⁷⁾という従来の知見と照らし合わせてみると、本実験の栽培条件は、表層根の発達を促す方向に大きく関与していたのではないかと考えられる。さらに、本実験を行なった水田が細粒強グライ土壌で、透水性の極めて小さい圃場 (減水深 1 cm/日以下) であったことも、土壌表層に根系が発達することを促進したものと推定される。

3. 日射量が作物体の茎葉部と根の生育に及ぼす影響については多くの研究が行なわれており、日射量が減少すると茎葉部の生長が優先し、相対的に根部の生長が抑制されることが知られている¹⁾。しかし、圃場条件下の水稻で、日射量が根の量的形質に及ぼす影響を調査した報告はみられない。本実験では、とくに水稻の幼穂形成期から出穂期にかけての期間の比較的弱い遮光処理が根長密度や総根長にいかなる影響を及ぼすかを調査した。

第2表に示したように遮光処理の根長密度への影響は株下、株条間とも表層から 20 cm の深さまで及び各層で根長密度の減少が認められた。とくに、株下の 5~10 cm、株条間の 0~5 cm、さらには株下、株条間の 15~20 cm の層では顕著な減少がみられた。また、10 a 当たりの総根長は遮光区で対照区より 20% 以上も短くなっているのが認められた。これらの各部位、各層での根長密度、総根長の減少は、第2報で述べるように、処理開始以降に出現する1次根の数や分枝根の量の減少と強く関連しているものと推察される。その関連性についての考察は次報で行うとし、ここでは幼穂形成期から出穂期にかけての短期間の比較的弱い遮光処理でもコシヒカリの根系形成は甚大な影響を受けることが明らかにされたことを指摘することにとどめたい。

4. 最後に、根長密度の分布と収量との関係について考察したい。川田ら⁹⁾は高い収量をあげる水稻においては下方向に伸長する根が重要であることを指摘している。これに関連して、森田ら^{12,13,15)}は下方向に伸長する根は太くて通導能力が高いこと等を推察している。また森田ら¹⁴⁾は層別の根長密度と収量との関係を検討し、600kg/10 a 以上の高い収量をあげるためには「下層根」(下方向に伸長する1次根とこれに形成される分枝根に相当) が重要であることを推察している。

本実験の結果についても森田らの方法に準じて「表層根」(株条間の 0~10 cm の層) と「下層根」(株下の 10~30 cm の層) に分けて、その根長密度

の比 (下層根/表層根) をとると遮光区は 0.2、対照区では 0.3 という値が得られ、収量の高い対照区で下層根の割合が高い傾向がみられ、ここでも下層根の重要性が示唆された。

また根の量的形質と収量との関係を解析するため、得られたデータから単位根長 (測定されたすべての分枝根を含む) 当りの粒数と単位根長当りの精玄米重を算出した。前者は対照区で 1 m 当り 0.73 粒、遮光区で 0.89 粒となり、後者は対照区で 1 m 当り 13.5 mg、遮光区で 15.9 mg となっていて、いずれの指標についても両区間で近似した値が得られた。このことは根の量的形質と収量形質とが密接に関連していることを示唆しているものと考えられる。

遮光処理による根系の変化と収量形質との関連については第2報でさらに考察したい。

謝辞：本研究を実施するにあたり終始有益な示唆と多大な援助を与えられた、東京大学農学部栽培研究室原田二郎助教授ならびに根本圭介博士に心からお礼を申し上げる。

引用文献

1. Brouwer, R. and C.T. de Wit 1969. A simulation model of plant growth with special attention to root growth and its consequences. In *Root Growth*, (Ed.) W.J. Whittington Butterworths, London. 224—244.
2. International Rice Research Institute 1978. Annual Report for 1977. Los Baños, Laguna, Philippines, 100—101.
3. ————— 1979. Annual Report for 1978. Los Baños, Laguna, Philippines, 100—102.
4. ————— 1980. Annual Report for 1979. Los Baños, Laguna, Philippines, 335—338.
5. 石井康之・玖村敦彦 1986. 水稻における幼穂発育期間の温度が植物体各部の生長に及ぼす影響. 日作紀 55: 420—426.
6. 岩田忠寿・間脇正博・湯浅佳織・井上健一 1985. 福井県における昭和 59 年水稻作の乾物生産からみた多収要因の解析. 日作紀 54 (別 1): 8—9.
7. 川田信一郎・副島増夫 1977. 水稻における「うわ根」の形成と水管理との関係について. 日作紀 46: 24—36.
8. ————— 1977. 水稻における「うわ根」の形成と窒素の施用法、とくに追肥との関係. 日作紀 46: 254—260.
9. —————・山崎耕宇 1978. 水稻における「うわ根」の形成量と玄米収量との関係. 日作紀 47: 629—636.
10. 松田智明・川原治之助・長南信雄 1984. 水稻下位節

- 間の挫折抵抗力に関する組織形態学的研究. 第6報
異なる環境下で生育した水稻の下位節間の構造と挫
折抵抗力. 日作紀 53: 71—78.
11. 松島省三・山田俊二・岡部 俊・小松展之 1953. 稻
作には何時の日射が大切か—収量の成立経過特に玄
米粒大の決定機構—. 農及園 28: 1157—1162.
12. 森田茂紀・山崎耕宇・川田信一郎 1983. 水稻冠根の
伸長方向と組織構造との関係. 日作紀 52: 551—554.
13. ———・—————・————— 1983. 水稻冠根の伸
長方向と通導機能との関係. 日作紀 52: 562—566.
14. ———・菅 徹也・山崎耕宇 1988. 水稻における
根長密度と収量との関係. 日作紀 57: 438—443.
15. 山崎耕宇・森田茂紀・川田信一郎 1981. 水稻冠根の
伸長方向と直径との関係. 日作紀 50: 452—456.
-